

**Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera**

**Vyhodnocení údržby zabezpečovacího zařízení
s ohledem na plnění požadavků RAMS**

Vladimír Polívka

**Bakalářská práce
2009**

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě
Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vladimír POLÍVKA**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní infrastruktura-Elektrotechnická zařízení v dopravě**
Název tématu: **Vyhodnocení údržby zabezpečovacího zařízení s ohledem na plnění požadavků RAMS**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- a) Spolehlivostní parametry zabezpečovacího zařízení
- b) Shromáždění provozních podkladů z provozovaného zařízení v konkrétní lokalitě (K-2000,Káranice) a jejich analýza
- c) Výpočet a vyhodnocení spolehlivostních parametrů konkrétního zabezpečovacího zařízení

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

ČSN EN 50 126 - RAMS

1. Záznamníky poruch (ČD,Starmon)

2. Pokyny pro údržbu K-2000

3. Statistické údaje z opravy relé

4. Předpisy provozovatele pro údržbu

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Konečný
Starmon Choceň

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2009**

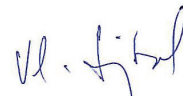
Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



prof. Ing. Vladimír Schejbal, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 26. února 2009

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 29. 5. 2009

Vladimír Polívka

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Konečnému za vedení bakalářské práce a poskytnutí potřebných informací k jejímu vypracování a čas věnovaný vzájemné diskusi nad problematikou spolehlivosti zabezpečovacích zařízení. Dále bych chtěl poděkovat rodině, pracovníkům Správy sdělovací a zabezpečovací techniky v Chlumci nad Cidlinou a všem přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

Anotace

Tato bakalářská práce pojednává o výpočtech spolehlivostních parametrů jednotlivých objektů staničního zabezpečovacího zařízení.

První část se zabývá problematikou bezpečnosti a spolehlivosti zabezpečovacích zařízení. Jsou zde uvedeny základní pojmy a vztahy z oblasti spolehlivosti.

Druhá část obsahuje seznámení se staničním zabezpečovacím zařízením K-2000 umístěným v železniční stanici Káranice. V této části je stručně vysvětlen popis a provádění údržby na staničním zabezpečovacím zařízení

Ve třetí části je provedena predikce spolehlivosti jednotlivých úrovní zabezpečovacího zařízení K-2000.

Klíčová slova: zabezpečovací zařízení, bezpečnost, spolehlivost, ukazatel, systém, objekt, údržba, obnova, predikce, K-2000.

Annotation

This bachelor thesis concerns calculations of reliability parameters each objects of an interlocking system.

The first part of this work focuses on the security issues and reliability of the interlocking equipments. It defines the basic terms and relations regarding reliability.

The second part introduces interlocking equipment called K-2000 located in a railway station in Karanice. There is briefly described maintenance of the interlocking equipment.

The third part contains the reliability calculations of each level of the interlocking equipment K-2000.

Key words: interlocking equipment, safety, reliability, indicator, system, objects, maintenance, restoration, prediction, K-2000.

Obsah

Úvod	10
1 Bezpečnost a spolehlivost zabezpečovacích zařízení	11
1.1 RAMS.....	11
1.2 Bezpečnost zabezpečovacích zařízení	12
1.2.1 Analýza rizika.....	12
1.2.2 Integrita bezpečnosti.....	13
1.2.3 Zabezpečovací systémy s reakční bezpečností.....	14
1.2.4 Zabezpečovací systémy se složenou bezpečností	15
1.3 Spolehlivost zabezpečovacích zařízení	16
1.3.1 Ukazatele spolehlivosti železničních zabezpečovacích zařízení.....	16
1.3.2 Výběr ukazatelů spolehlivosti.....	17
1.4 Spolehlivostní parametry.....	19
1.4.1 Bezporuchovost	19
1.4.2 Udržovatelnost.....	24
1.4.3 Životnost	24
1.4.4 Pohotovost.....	25
1.5 Základní pojmy teorie obnovy	25
1.5.1 Základní ukazatele obnovy	27
1.6 Spolehlivost systémů	27
2 Elektronické stavědlo K-2000.....	30
2.1 Popis zařízení K-2000.....	30
2.2 Popis železniční stanice Káranice.....	33
2.3 Údržba na staničním zabezpečovacím zařízení.....	34
3 Predikce spolehlivosti objektů staničního zabezpečovacího zařízení	35
3.1 Predikce spolehlivosti objektů venkovního zařízení	36
3.1.1 Predikce spolehlivosti návěstních žárovek základních znaků u hlavních návěstidel a předvěstí a seřadovacích návěstidel.....	36
3.1.2 Predikce spolehlivosti elektromotorického přestavníku EP 600	38
3.1.3 Predikce spolehlivosti počítače náprav	38
3.1.4 Predikce odhadu spolehlivosti pro kolejový obvod.....	38
3.1.5 Predikce celkové spolehlivosti úrovně venkovního zařízení	39
3.2 Predikce spolehlivosti objektů úrovně vstupních a výstupních obvodů	39

3.3	Predikce spolehlivosti objektů úrovně bezpečnostní a logické	40
3.4	Predikce spolehlivosti objektů úrovně obsluhy	40
3.5	Součinitel pohotovosti úrovně venkovních zařízení	40
Závěr	.....	42
Seznam použité literatury	.....	44
Seznam tabulek	.....	46
Seznam obrázků	.....	47
Seznam grafů	.....	48
Seznam zkratek	.....	49
Seznam příloh	.....	50

Úvod

Lidský faktor byl a stále je příčinou mnoha nehod. Mnohým z nich je možné zabránit vhodnými technickými prostředky, které chybu člověka vylučují. Řídicí systém je potřeba navrhnout tak, aby žádná předvídatelná porucha nevedla ke vzniku nebezpečného stavu. Příkladem jsou zabezpečovací zařízení v železniční dopravě, která již prošla dlouhým vývojem – od mechanických prvků přes reléová zařízení až po dnešní elektronické systémy.

Hlavním úkolem zabezpečovacího zařízení je zajištění bezpečné jízdy vlaků a dalších železničních vozidel přes výhybky a znemožnění střetnutí s jinými jedoucími nebo stojícími vozidly. Jízda železničních vozidel se řídí návěstěním. Zabezpečovací zařízení musí návěstit stanovenou rychlost, kterou smí vlak jet, popřípadě určit místo, kde má zastavit. Návěstěná rychlost může být přenášena na hnací vozidlo a na něm automaticky vyhodnocována a zpracovávána.

Zabezpečovací zařízení musí být řešeno především tak, aby v provozu dosahovalo stanovenou úroveň bezpečnosti a požadovanou spolehlivost. Elektronickým systémům se dlouhou dobu nedařilo těmto požadavkům vyhovět a jejich rozvoj lze zaznamenat až v posledním desetiletí.

Zatímco funkce reléových systémů byla dána vytvořenými závislostmi mezi funkčními bloky nebo i jednotlivými relé, chování elektronických zařízení určuje především jejich software. Přestože návrh softwaru vychází z podobných požadavků jako návrh reléových závislostí, má dvě odlišnosti. Musí se vypořádat nejen s předpokládaným symetrickým projevem poruch v integrovaných obvodech, ale vzhledem ke své složitosti, také s možností výskytu chyb ve vlastním návrhu.

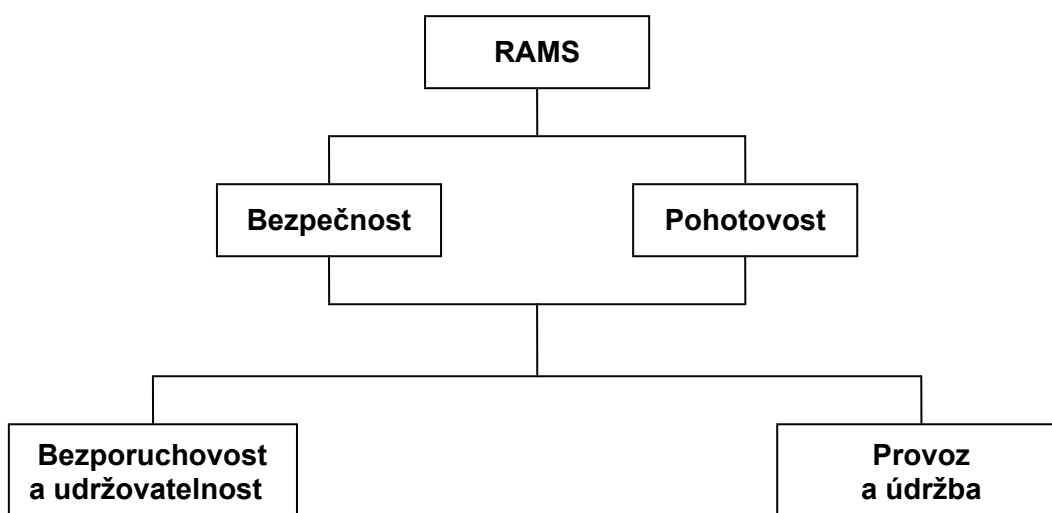
1 Bezpečnost a spolehlivost zabezpečovacích zařízení

1.1 RAMS

Norma ČSN EN 50126 poskytuje provozovatelům dráhy a drážnímu průmyslu v Evropské unii zavedení důkladného přístupu k managementu bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti, označovaného zkratkou RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety). Tato norma je určena k systematickému používání ve všech etapách životního cyklu systému drážního zařízení a definuje pro něj úkoly a činnosti, které je potřeba vykonat pro dosažení splnění požadovaných funkcí ve vztahu k RAMS.

Systém je definován jako soubor subsystémů a složek, které organizovaným spojením dosahují požadovanou funkčnost. Funkčnost je přiřazena k jednotlivým subsystémům a složkám systému. Chování a stav systému se změní, jestliže se změní funkčnost subsystému nebo složky. RAMS charakterizuje dlouhodobou činnost systému a je dosahován použitím daných technických koncepcí, metod, nástrojů a postupů během celého životního cyklu. RAMS systému lze charakterizovat jako ukazatel stupně, po který se lze spolehnout, že daný systém funguje tak jak je stanoveno a že je použitelný a bezpečný.

Bezpečnost a pohotovost jsou vzájemně provázány. Nedostatky na jedné nebo druhé straně mohou zabránit vytvoření spolehlivého systému. Vzájemné provázání prvků RAMS (bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti) je uvedeno na obrázku 1.



Obrázek 1: Vzájemný vztah prvků RAMS [2]

Cíle provozní bezpečnosti a pohotovosti lze dosáhnout splněním všech požadavků na bezporuchovost a udržitelnost a dále řízením průběžných provozních činností a údržby.

Obecným východiskem řešení problematiky bezpečnosti a spolehlivosti objektů je vyjádřit ztrátu schopnosti plnit požadované funkce při jejich užívání a následků vyvolaných výskytem poruchy nebo neodstranitelného porušení bezpečnostních požadavků. K dosažení požadované bezpečnosti a optimální spolehlivosti je nutné se systematicky zabývat managementem rizik pro zajištění bezpečnosti a managementem spolehlivosti pro zabezpečení spolehlivosti. Management rizik a management spolehlivosti se uplatňují pro všechny etapy životního cyklu systému.

Životní cyklus systému tvoří posloupnost etap, které zahrnují úkoly pokrývající celou dobu existence systému a to od počáteční koncepce až po vyřazení z provozu a likvidaci celého systému. Poskytuje strukturu plánování, management, kontrolu a sledování všech aspektů systému včetně RAMS během postupu jednotlivými etapami. Hlavní body složek všeobecných úkolů projektu pro každou etapu životního cyklu jsou uvedeny v příloze 1.

1.2 Bezpečnost zabezpečovacích zařízení

Bezpečnost je obecně vymezena jako stav objektu nebo systému, kdy při stanoveném užívání je riziko poškození zdraví osob, životního prostředí nebo materiálních ztrát omezeno na přijatelnou úroveň. Zajištění požadované úrovně bezpečnosti je obecně založeno na identifikaci, analýze, hodnocení a ošetřování rizik. Rizikem se obecně rozumí kombinace četnosti nebo pravděpodobnosti výskytu specifikované nebezpečné události a vzniku následků.

1.2.1 Analýza rizika

Bezpečnost zabezpečovacího systému mohou přímo i nepřímo ovlivnit spolehlivostní parametry zařízení. Vzrůstající poruchovost zařízení bude doprovázena vzrůstem obecné četnosti výskytu hazardních stavů THR (tolerable hazard rate). Pokud budou zabezpečovací systémy z nějakých důvodů provozu neschopné, bude zabezpečení železniční dopravy prováděno náhradním způsobem pravděpodobně s velkým podílem lidského rozhodování. Jelikož četnost lidských chyb bývá o několik řádů vyšší než četnost nebezpečných poruch zabezpečovacích

systemů, dojde nepřímo ke snížení celkové bezpečnosti systému. Prostředkem pro hodnocení bezpečnosti zabezpečovacího systému je analýza rizik. Klasifikaci četnosti a závažnosti výskytu hazardních stavů znázorňuje tabulka 1.

	Úroveň výskytu nebezpečných událostí	Kategorie rizika			
10^{-2}	Častá	Nepřípustná			
10^{-3}	Pravděpodobná					Nežádoucí
10^{-4}	Nahodilá	Přípustná		Zanedbatelná	
10^{-5}	Vzdálená	Zanedbatelná			
10^{-6}	Nepravděpodobná	Zanedbatelná			
10^{-7}	Vysoce nepravděpodobná	Zanedbatelná			
		Katastrofická	Kritická	Okrajová	Nevýznamná
		Úroveň závažnosti nebezpečí			
		10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}

Tabulka 1: Hodnocení a přijetí rizika [6]

Úroveň	Definice
Nepřípustná	Musí být vyloučeno
Nežádoucí	Může být připuštěno pouze se souhlasem schvalovatele pokud je redukce rizika neproveditelná
Přípustná	Lze připustit s odpovídající kontrolou a souhlasem schvalovatele
Zanedbatelná	Přijatelné se souhlasem schvalovatele

Tabulka 2: Kategorie rizika [6]

Po stanovení úrovně bezpečnosti pro dané použití a odhadnutí nezbytného snížení rizika na základě výsledků procesu posuzování rizika, lze odvodit požadavky na integritu bezpečnosti.

1.2.2 Integrita bezpečnosti

Integrita bezpečnosti se týká schopnosti systému dosáhnout požadovaných bezpečnostních funkcí. Čím vyšší je integrita bezpečnosti, tím nižší je

pravděpodobnost, že systém neprovede požadované bezpečnostní funkce. Má-li být dosaženo odpovídající úrovně integrity bezpečnosti je nutné splnit požadavky jak na integritu vůči systematickým poruchám (chyba softwaru), tak vůči náhodným poruchám (chyba hardwaru). V tabulce 3 jsou uvedeny jednotlivé úrovně integrity bezpečnosti.

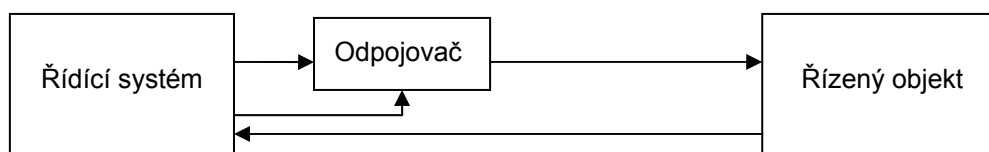
Úroveň integrity bezpečnosti softwaru	Popis úrovně integrity bezpečnosti softwaru
4	velmi vysoká
3	vysoká
2	střední
1	nízká
0	nevztahující se k bezpečnosti

Tabulka 3: Úrovně integrity bezpečnosti [3]

1.2.3 Zabezpečovací systémy s reakční bezpečností

Zabezpečovací zařízení musí být navrženy, provedeny a provozovány tak, aby svoji hlavní funkci spolehlivě plnily nejen při všech provozních stavech, ale i při stavech způsobených uvažovanými poruchami. Pro dosažení požadované míry bezpečnosti se využívá techniky reakční a složené bezpečnosti při poruše.

Zabezpečovací systém s reakční bezpečností na obrázku 2 je tvořen jednou funkční jednotkou, která obsahuje prostředky pro detekci poruch a prostředky pro uvedení systému do bezpečného stavu (odpojovač). Funkční kontrola rozhraní mezi řídicí jednotkou a řízeným objektem se dosahuje porovnáním signálu na výstupu jednotky a zpětného signálu informujícího o stavu řízeného objektu.



Obrázek 2: Systém s reakční bezpečností

Pokud se vyskytne porucha, musí se detekovat do určitého okamžiku a od tohoto momentu se musí uvést řízený objekt do bezpečného stavu. Zmiňovaný okamžik je doba od vzniku poruchy během které se systém může nacházet v nebezpečném stavu, aniž by byla ohrožena bezpečnost řízeného procesu.

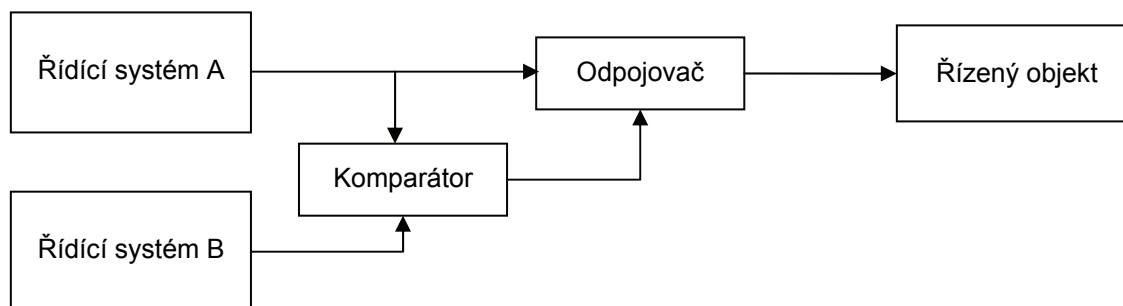
1.2.4 Zabezpečovací systémy se složenou bezpečností

Systémy se složenou bezpečností řeší požadovanou funkci vícenásobně (alespoň ve dvou procesech). Předpokladem správné a bezpečné činnosti je shoda výsledků, vzájemná nezávislost procesů, včasné zjištění poruchy a její zpracování.

Počítačové systémy se složenou bezpečností využívají, pro dosažení požadované úrovně bezpečnosti, různé formy redundance, které umožňují vícenásobné řešení požadované úlohy. Pro aplikace v železniční dopravě jsou charakteristické systémy s dvoukanálovou strukturou (systémy 2 ze 2) a s tříkanálovou strukturou (systémy 2 ze 3).

Systém s dvoukanálovou strukturou

Zabezpečovací systém obsahuje dvě navzájem nezávislé jednotky nutných pro výkon specifické funkce. Kritériem bezpečné činnosti systému jsou výsledky porovnání interních signálů a signálů na výstupech systému. Při rozdílné výstavbě kanálů je zpravidla možné porovnat jen výstupní signály nebo průběžné výsledky. Porovnání výstupních signálů obou jednotek se uskutečňuje v komparátoru a může být provedeno hardwarově, softwarově nebo kombinací těchto způsobů. Příklad zapojení je znázorněn na obrázku 3.



Obrázek 3: Systém se složenou bezpečností 2 ze 2

Pokud se vyskytne porucha jedné jednotky, musí systém poruchu detekovat a přejít do trvalého bezpečného stavu dříve než se vyskytne druhá porucha, která

může být s první poruchou potenciálně nebezpečná. Doba detekce poruchy a přechodu do bezpečného stavu musí být menší než určený maximální čas, který je vypočítán na základě informací o intenzitách poruch jednotlivých prvků. První porucha nesmí způsobit výskyt nebezpečného stavu. Při zjištění rozdílu mezi výstupními signály obou jednotek musí zaniknout i dovolující signál na výstupu celého systému.

1.3 Spolehlivost zabezpečovacích zařízení

Spolehlivost je definována jako obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daném rozmezí, času a dle technických podmínek. Spolehlivost je komplexní vlastnost, která podle určení předmětu a podmínek provozu může zahrnovat bezporuchovost, životnost nebo udržitelnost buď jednotlivě nebo v kombinaci těchto vlastností. Spolehlivost celého systému je závislá na spolehlivosti jednotlivých subsystémů, tedy jednotlivých elementárních součástí.

Analýza spolehlivosti se využívá převážně pro predikci spolehlivostních ukazatelů. Vychází z podrobné znalosti funkce a možných poruch analyzovaného zařízení. Nezbytnými vstupními podklady jsou údaje o spolehlivosti jednotlivých komponent. V případě, že tyto údaje nejsou k dispozici, stanoví se poruchovost z obdobných prvků nebo expertním odhadem. V teorii spolehlivosti existuje značně propracovaný a rozsáhlý soubor metod a postupů.

1.3.1 Ukazatele spolehlivosti železničních zabezpečovacích zařízení

Ukazatel spolehlivosti je definován jako číselné vyjádření jedné nebo několika vlastností určujících spolehlivost objektu. Hodnoty ukazatelů spolehlivosti lze stanovit z výsledků pozorování omezeného množství stejných objektů v daném časovém intervalu. Stanovení hodnot probíhá statistickými metodami sběru a zpracováním dat ze spolehlivostních zkoušek nebo z provozu, studiem mechanismu vzniku poruch a poruchových stavů. Ukazatel spolehlivosti je vyjádřením zákona rozdělení pravděpodobnosti zkoumané náhodné veličiny.

Výběr ukazatelů spolehlivosti musí být proveden tak, aby byla zajištěna maximální vypovídací schopnost o daném objektu a tím vytvořeny optimální podmínky pro navazující opatření v předvýrobní, výrobní i provozní fázi. Hodnoty spolehlivosti mají zaručit dosažení a udržení technicko-provozních parametrů objektu

na požadované úrovni. Výběr se provádí pro objekty, které mohou být během svého používání pouze ve dvou stavech – v provozuschopném nebo poruchovém. Hranice mezi těmito dvěma stavy musí být jednoznačně určeny v předmětové normě nebo technických podmínkách pro daný objekt. Za poruchu objektu se považuje každý jev, který způsobuje ukončení provozuschopnosti tohoto objektu nebo jeho části v případě kompletního zabezpečovacího zařízení. Do úvahy se berou poruchy uvažované a poruchy nepravděpodobné. Ostatní poruchy např. důsledek násilné obsluhy, poškození nebo zneužití zařízení a poruchy nepředvídatelné se neuvažují. Nejsou-li za poruchu na objektu vědomě uvažovány i některé poruchy z vnějších příčin např. důsledky atmosférických poruch, důsledky přetížení, snížení izolačních stavů nebo rušivých vlivů vysokého napětí.

Při stanovení hodnot spolehlivosti mohou být časové závislosti výskytu poruch vyjádřeny i nepřímo, např. počtem pracovních cyklů, počtem přestavení výhybky nebo počtem postavených jízdních cest.

Řešení problematiky spolehlivosti systému začíná vždy jejím vymezením, tj. vyjádřením ztráty schopnosti plnit požadované funkce při stanovených podmínkách provozu. Uplatňují se dva vzájemně protínající přístupy zkoumání, kvalitativní a kvantitativní.

Kvalitativní přístup spočívá ve vymezení spolehlivosti souboru systému téhož typu ve vazbě na studium a analýzu příčin, druhů, způsobů, projevů a důsledků poruch. Pomocí analýzy je umožněno předcházet a odstraňovat příčiny a následky poruchových stavů.

Kvantitativní přístup je založen na použití číselných vyjádření. Pomocí ukazatelů umožňuje formulovat a ověřovat kvantitativní požadavky a prokazovat je v předvýrobních etapách v podobě předpovědí. Po výrobních etapách ověřuje kvantitativní požadavky v podobě zjištěných provozních hodnot.

1.3.2 Výběr ukazatelů spolehlivosti

Před vlastním výběrem ukazatelů spolehlivosti železničních zabezpečovacích zařízení je nutno posuzovaný objekt jednoznačně charakterizovat podle čtyř základních kritérií, které se řadí do jednotlivých skupin nebo tříd.

Kritérium důsledků poruch

V první skupině jsou objekty, které při použití v obvodech zajišťují bezpečnou jízdu vlaků a zabezpečeného posunu. Musí splňovat podmínku, že žádná z poruch v přímém důsledku nezpůsobí ohrožení bezpečnosti života lidí, materiálních a morálních škod. Splnění této podmínky je zajištěno konstrukcí objektu a vnitřním zapojením s využitím fyzikálních principů. Mezi tyto objekty patří např. paralelní kolejový obvod a relé první bezpečnostní třídy.

Ve druhé skupině jsou objekty, jejichž poruchy nemají bezprostřední vliv na bezpečnost jízdy vlaku a zabezpečeného posunu, ale mohou způsobit ohrožení bezpečnosti provozních pracovníků, materiální škody a omezení dopravy. Omezení těchto důsledků poruch se provádí předpisovými, organizačními a technickými opatřeními např. doplnění funkčních kontrol nebo cyklickým testováním objektů.

Objekty třetí skupiny svou funkcí nepřímo zajišťují bezpečnou jízdu vlaků a zabezpečeného posunu. Mezi tyto objekty náleží např. indikační prvky a diagnostická zařízení.

Kritérium obnovy

V první třídě jsou neobnovované objekty pro všeobecné použití, v různých předem neurčených obvodech. Do této skupiny jsou zahrnuty např. indikační žárovka, pojistka, běžné elektronické součástky (kondenzátor, dioda, odpor, atp.)

Do druhé třídy patří neobnovované objekty předem určené pro železniční zabezpečovací zařízení. Typickým příkladem je návěštní transformátor a návěštní žárovka.

Třetí třídě náleží obnovované objekty. Mezi tyto objekty se řadí např. kolejový obvod, reléová sada, deska plošných spojů, atp.

Kritérium režimu provozu

Skupina N je stanovena pro nepřetržitý provoz. Podstatná část objektu je nepřetržitě provozně zatěžována. Do této skupiny patří kolejový přijímač a návěstidlo.

Skupina C je určena pro cyklický provoz. Objekt nebo jeho podstatná část je zatěžována v pravidelných cyklech např. grafikonem vlakové dopravy. Do této skupiny se řadí např. elektromotorický přestavník a elektromechanické relé.

Skupina O je stanovena pro operativní provoz. Objekt je zatěžován nepravidelně podle potřeby. Příkladem jsou záložní napájecí zdroje, a obvody nouzového rušení jízdnic cest.

Kritérium omezení doby používání

Skupina V je tvořena objekty s vynuceným omezením doby používání. Doba používání těchto objektů je přerušována nebo ukončena pouze náhodně, při výskytu poruchového nebo mezního stavu.

Skupina P je dána objekty s plánovaným omezením doby používání. Doba používání je navíc přerušována plánovaným vypnutím za účelem údržby nebo ukončena plánovaným vyřazením. Do této skupiny patří všechny výměnné díly s výměnnými lhůtami.

1.4 Spolehlivostní parametry

1.4.1 Bezporuchovost

Bezporuchovost je definována jako vlastnost objektu plnit nepřetržitě předepsané funkce po stanovenou dobu a za stanovených podmínek. Číselně se vyjadřuje např. intenzitou poruch pravděpodobností bezporuchového provozu, nebo střední dobou bezporuchového provozu v daném intervalu.

Intenzita poruch $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad [h^{-1}] \quad (1)$$

f(t) – hustota pravděpodobností poruchy

R(t) – pravděpodobnost bezporuchového stavu

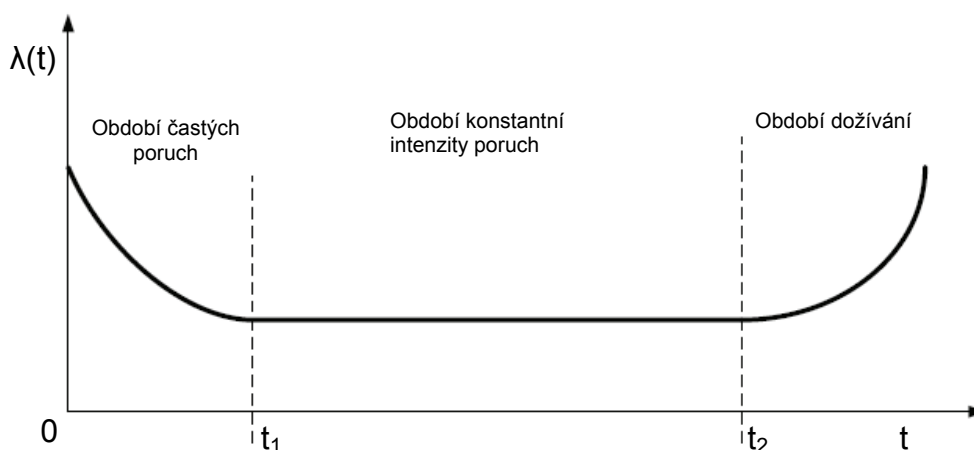
Intenzita poruch je nejvýznamnějším ukazatelem, který charakterizuje bezporuchovost neopravovaných objektů. Jedná se o pravděpodobnost, při které dojde k poruše objektu za nekonečně malou časovou jednotku po daném okamžiku s podmínkou, že do toho okamžiku nedošlo k poruše. Zobrazení intenzity poruch jako funkce doby provozu se nazývá vanovou křivkou, která je znázorněna na grafu 1. Průběh intenzity poruch lze rozčlenit na tři rozdílné úseky.

V prvním úseku (období častých poruch), který je relativně krátký, je intenzita poruch vysoká a má klesající tendenci. Hlavní podíl na vysoké intenzitě poruch mají

poruchy vzniklé v důsledku chyb v konstrukci a ve výrobním procesu z důvodů nedokonalého osvojení výrobku obsluhou. Mnohé výrobky jsou pro poruchy způsobené skrytou vadou vyřazeny z činnosti.

V druhém úseku (období konstantní intenzity poruch), který bývá nejdelším úsekem v období provozu, je intenzita poruch přibližně konstantní, popřípadě mírně roste. Poruchy mají obvykle náhodný charakter a hlavní podíl na jejich vzniku má obvykle přetěžování, nevhodná obsluha a údržba. Ojediněle se zde projevují skryté vady, předčasné stárnutí a různé vnější vlivy. Toto období je nejdůležitější v celém životě objektu.

Ve třetím úseku (období dožívání) intenzita poruch roste jako důsledek opotřebení, stárnutí, únavy a dalších nepříznivých jevů. V tomto úseku by se mělo další používání objektu dobře zvažovat.



Graf 1: Průběh intenzity poruch – vanová křivka [4]

Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$

Vyjadřuje pravděpodobnost, že v daném časovém intervalu v rozmezí určené provozní doby vznikne porucha objektu.

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt \quad [-, \%] \quad (2)$$

$f(t)$ – hustota pravděpodobnosti poruchy

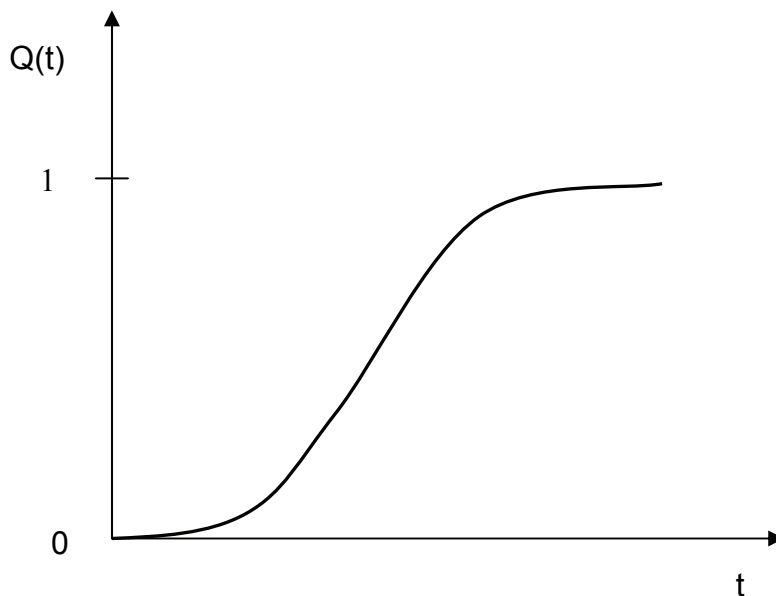
dt – elementární jednotka času

Empirický vztah je dán:

$$Q(t) = \frac{n_f(t)}{n} \quad [-, \%] \quad (3)$$

n – počet objektů ve vyšetřovaném souboru

n_f – počet objektů v poruchovém stavu během časového intervalu



Graf 2: Průběh pravděpodobnosti poruchy $Q(t)$

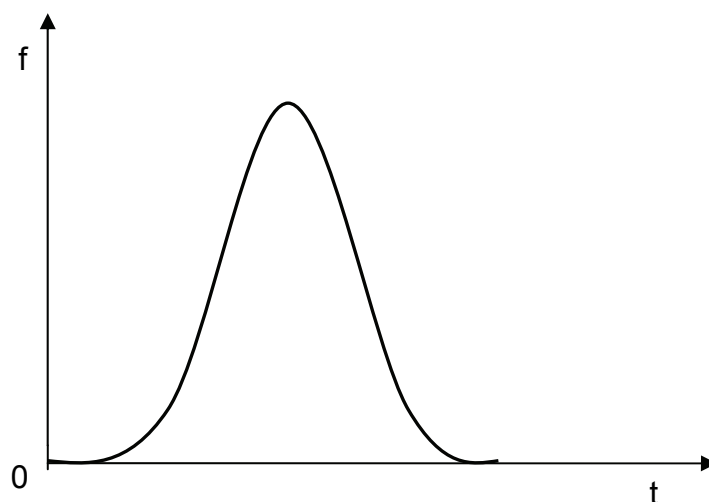
Hustota pravděpodobnosti poruchy $f(t)$

Pravděpodobnost, že k poruše objektu dojde za krátký časový interval po daném okamžiku za délku tohoto intervalu.

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} \quad [h^{-1}, \% / h] \quad (4)$$

$f(t)$ – hustota pravděpodobnosti poruchy

$dQ(t)$ – jednotka pravděpodobnosti poruchy



Graf 3: Průběh pravděpodobnostní funkce hustoty poruch $f(t)$

Pravděpodobnost bezporuchového stavu $R(t)$

Vyjadřuje pravděpodobnost, že v daném časovém intervalu nebo v rozmezí dané provozní doby nevznikne porucha objektu. Předpokládá se, že na začátku intervalu byl objekt v bezporuchovém stavu. Pravděpodobnost bezporuchového stavu je doplňkovou funkcí k pravděpodobnosti poruchy $Q(t)$ a jejich součet je roven jedné. Křivka průběhu funkce $R(t)$ zobrazuje úbytek provozuschopných výrobků ve vyšetřovaném souboru.

$$R(t) = \int_0^t f(t)dt \quad [-, \%] \quad (5)$$

$$R(t) + Q(t) = 1 \quad [-] \quad (6)$$

$$R(t) = \frac{n - n_f(t)}{n} \quad [-, \%] \quad (7)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad [-] \quad (8)$$

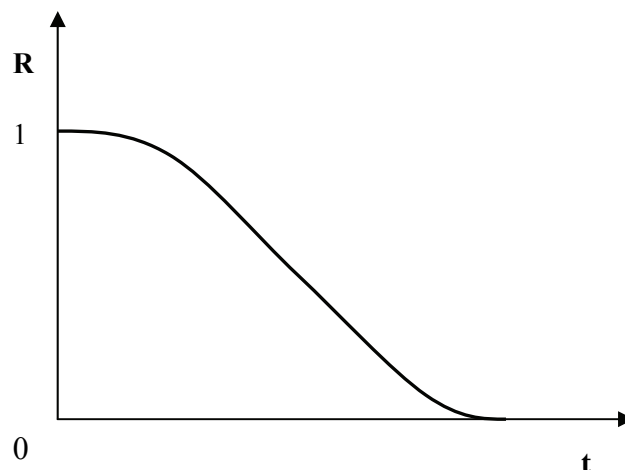
$R(t)$ – pravděpodobnost bezporuchového stavu

$f(t)$ – hustota pravděpodobnosti poruchy

$Q(t)$ – pravděpodobnost do poruchy

n – počet objektů ve vyšetřovaném souboru

n_f – počet objektů v poruchovém stavu během časového intervalu



Graf 4: Průběh funkce spolehlivosti $R(t)$

Střední doba do poruchy MTTF

$$MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad [h] \quad (9)$$

Empirický vztah:

$$MTTF = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_{fj} \quad [h] \quad (10)$$

n – počet zkoušených objektů

t_{fj} - doba do poruchy j -tého objektu

Pro exponenciální rozdělení platí vztah:

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad [h] \quad (11)$$

λ – intenzita poruch

Střední doba mezi poruchami MTBF

$$MTBF = \frac{\sum t_z}{\sum r} \quad [h] \quad (12)$$

$\sum t_z$ – kumulovaná doba bezporuchového provozu

$\sum r$ – celkový počet poruch

1.4.2 Udržovatelnost

Udržovatelnost je definována jako vlastnost objektu spočívající ve způsobilosti předcházení a zjišťování příčin vzniku jeho poruch a odstraňování jejich následků předepsanou údržbou a opravami. Koncepce udržovatelnosti se zabývá těmi charakteristikami návrhu, výroby a montáže, jež ovlivňují schopnost systému vyhovět daným požadavkům na využití a údržbu. Tato schopnost se zpravidla vyjadřuje dobou trvání údržbářských činností a požadavky na preventivní údržbu. Doba údržby závisí na schopnosti systému zachovat funkční stav nebo být do něho vrácen (snadnost diagnostiky, přístupnost součástí atp.) a dále závisí na zajištěnosti údržby (kvalifikovaní pracovníci, jejich výcvik, sklady náhradních dílů a dokumentace).

doba údržby								
doba preventivní údržby			doba údržby po poruše					
logistické zpoždění	doba aktivní preventivní údržby		administra- tivní zpoždění	logistické zpoždění	doba aktivní údržby po poruše			
	technické zpoždění	doba provádění preventivní údržby			technické zpoždění	doba lokalizace	doba aktivní opravy	doba kontroly
					doba opravy			

Tabulka 4: Členění doby údržby [4]

Hodnocení udržovatelnosti, se zahrnutím zajištěnosti údržby, je nezbytné založit na vymezení základních pojmů. Mezi základní pojmy udržovatelnosti patří koncepce údržby, která popisuje vztah mezi místy údržby, stupni rozčlenění objektu a stupni údržby a preventivní údržba prováděná v předem určených intervalech nebo podle předepsaných kritérií se zaměřením na snížení pravděpodobnosti poruchy a údržba po poruše. Preventivní údržba se provádí po zjištění poruchového stavu se zaměřením na uvedení objektu do provozuschopného stavu.

Mezi základní kvantitativní ukazatele udržovatelnosti založené na časovém členění doby údržby patří střední doba opravy MRT a střední doba do obnovy MTTR.

1.4.3 Životnost

Životnost je schopnost objektu plnit požadované funkce do momentu dosažení mezního stavu při stanoveném systému předepsané údržby a oprav. Hodnoty životnosti se vyjadřují v podobě číselné charakteristiky náhodné veličiny. Hlavní

ukazatel životnosti je zaručená doba bezporuchového provozu tzv. gamaprocentní (užitečný) život t_γ , který určuje dobu, během které je pravděpodobnost bezporuchového provozu shodná s procentuálním životem γ .

$$t_\gamma = -\frac{1}{\lambda} \ln \frac{\gamma}{100} \quad [h] \quad (13)$$

λ – intenzita poruch

γ – určuje procentuální život

1.4.4 Pohotovost

Pohotovost je schopnost objektu v určitém časovém okamžiku nebo po stanovenou dobu splňovat technické podmínky. Číselně se vyjadřuje pravděpodobností, kdy se bude objekt nacházet v libovolně zvoleném okamžiku v provozuschopném stavu. Základním ukazatelem je součinitel pohotovosti, který udává pravděpodobnost provozuschopnosti objektu v každém okamžiku při ustáleném provozním režimu.

Součinitel pohotovosti A

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad [\%] \quad (14)$$

A – součinitel pohotovosti

MUT – střední doba použitelného stavu

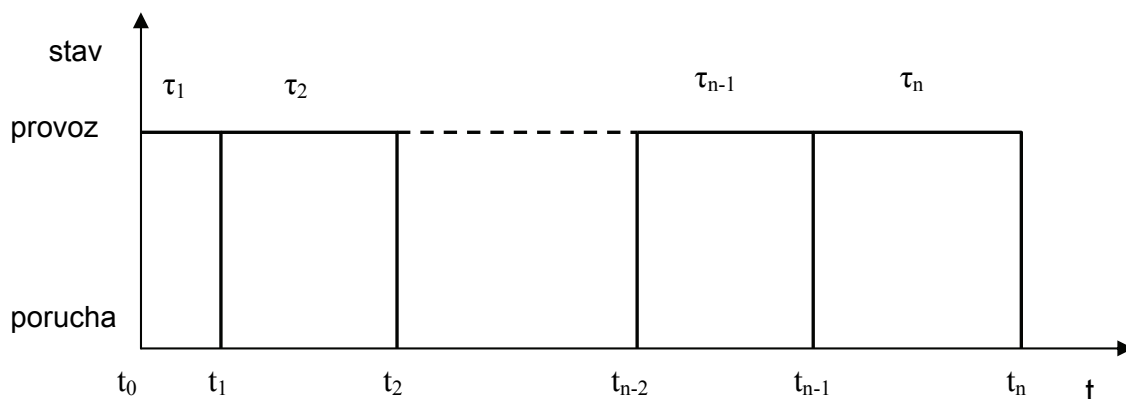
MDT – střední doba nepoužitelného stavu

1.5 Základní pojmy teorie obnovy

Veškerá většina technických systémů patří do kategorie obnovovaných objektů. Systém je po poruše opravován. Tento proces je nazýván obnova. Obnova je definována jako obnovení provozuschopnosti systému podle daných technických podmínek. Během životnosti systému může několikrát dojít k poruše a následné obnově poškozeného dílu. Do obnovy spadá i údržba systému. Z hlediska spolehlivosti je systém v bezporuchovém nebo poruchovém stavu.

Jednoduchý proces obnovy

Doba obnovy vzhledem k době provozu je zanedbatelná. Provoznost systému je po každé poruše obnovena okamžitě a to opravou nebo výměnou dílu za jiný provozuschopný.

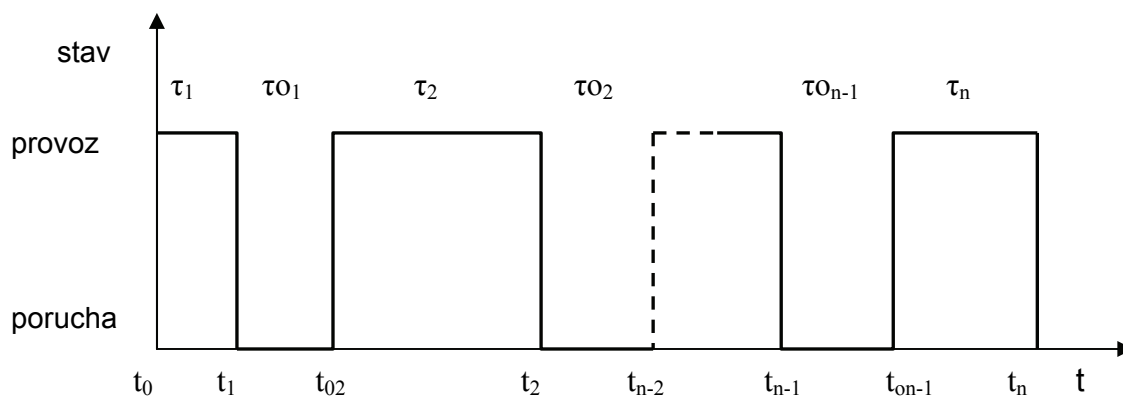


Obrázek 4: Jednoduchý proces obnovy [19]

Na obrázku 4 je znázorněn časový průběh jednoduchého procesu obnovy. V okamžiku t_0 je systém uveden do provozu. Pracuje po dobu τ_1 , v okamžiku t_1 vznikne porucha, která je ihned opravena, objekt pracuje dále po dobu τ_2 . V okamžiku t_2 má systém poruchu, proces pokračuje až do n -té poruchy v okamžiku t_n .

Obecný proces obnovy

V praxi ve většině případů není provoz ihned po poruše obnoven. Doba obnovy systému tedy není vzhledem k době bezporuchového provozu zanedbatelná. Proto je nutné při posuzování spolehlivosti systému s touto skutečností počítat.



Obrázek 5: Obecný proces obnovy [19]

Na obrázku 5 je znázorněn časový průběh obecného procesu obnovy. V okamžiku t_0 je systém uveden do provozu, pracuje po dobu τ_1 , a v okamžiku t_1 vznikne porucha. Po dobu τ_{01} je systém v poruše. Funkce je obnovena v okamžiku t_{02} . Poté systém pracuje po dobu τ_2 a proces se opakuje bez omezení.

1.5.1 Základní ukazatele obnovy

Základním ukazatelem obnovy jsou funkce obnovy, která určuje střední počet obnov v daném časovém intervalu a hustota obnovy. Hustota obnovy je někdy nazývána parametrem proudu poruch, který udává počet poruch, které nastaly za jednotku času v době t .

Funkce obnovy $H(t)$

$$H(t) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_j(t) \quad [h] \quad (15)$$

n – celkový počet zkoušených výrobků

$r_j(t)$ – počet poruch j -tého výrobku během doby t

Hustota obnovy $h(t)$

$$h(t) = \frac{dH(t)}{dt} \quad [-] \quad (16)$$

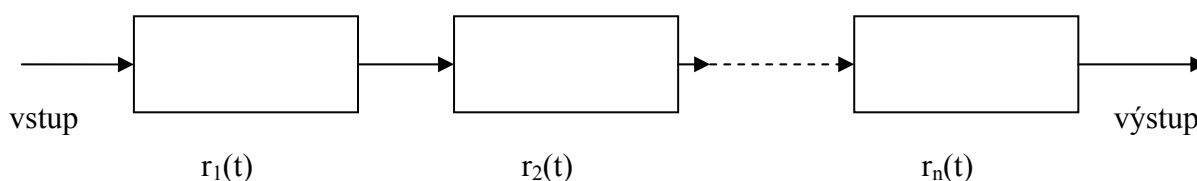
$dH(t)$ – jednotka funkce obnovy

1.6 Spolehlivost systémů

Elektrotechnická zařízení jsou obvykle sestavena z mnoha součástí a vyskytuje se v nich dostatek míst, kde může dojít k poruše. Tyto součásti jsou obecně nazvány prvky. Každý prvek je v něm reprezentován jedním blokem a lze jej jednoduše znázornit blokovým spolehlivostním modelem (diagramem). Metoda blokového diagramu se využívá pro kvalitativní a zejména kvantitativní analýzu a pro výpočet ukazatelů bezporuchovosti a bezpečnosti jednodušších až středně složitých systémů. Mezi základní zapojení bloků diagramu patří sériové a paralelní, jejichž kombinací vznikají různá smíšená zapojení.

Sériový blokový diagram bezporuchovosti

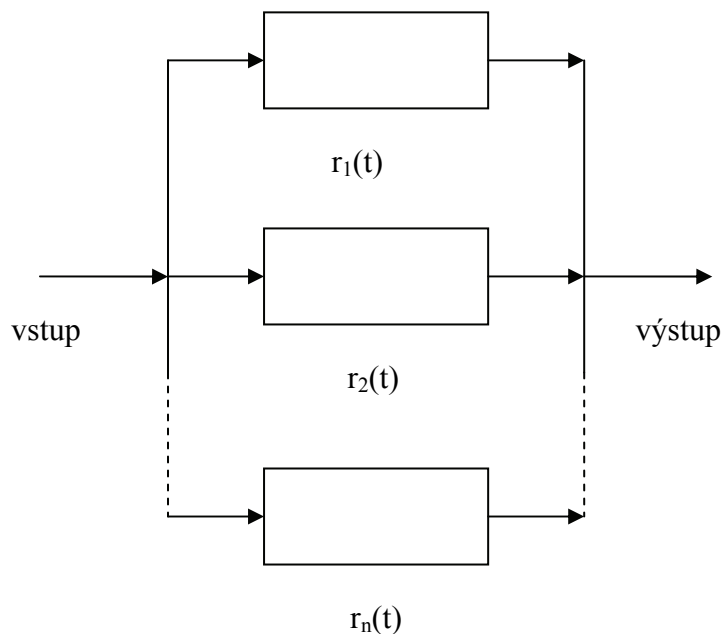
Sériové zapojení bloků diagramu vyjadřuje bezporuchový stav systému, jestliže jsou právě všechny jeho prvky (r_1-r_n) v bezporuchovém stavu. Porucha jakéhokoliv prvku způsobí poruchu systému. Sériový poruchový model na obrázku 6 zobrazuje bezporuchovost systému bez použití nadbytečných technických prostředků.



Obrázek 6: Sériový spolehlivostní model

Paralelní blokový diagram bezporuchovosti

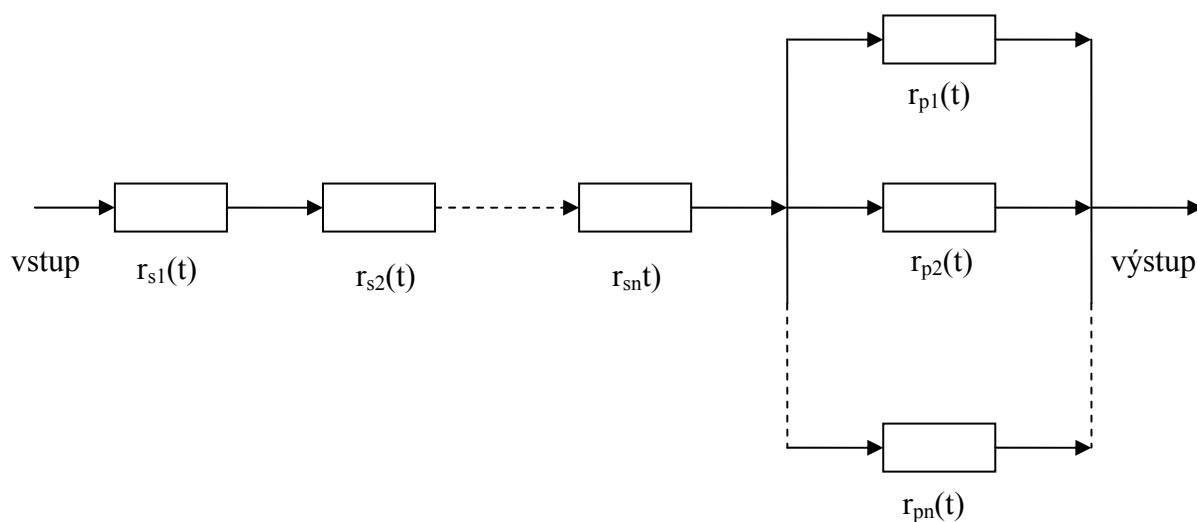
Při paralelním zapojení bloků diagramu bezporuchovosti nastane porucha systému, když se všechny prvky (r_1-r_n) nacházejí v poruchovém stavu. Z hlediska požadované funkce systému postačí bezporuchový stav jednoho libovolného prvku, zbytek prvků je nadbytečných. Tyto prvky nejsou nutné k plnění funkcí systému, ale jsou použity pouze ke zvýšení bezporuchovosti celého systému a nazývají se záložní prvky.



Obrázek 7: Paralelní spolehlivostní model

Smíšený blokový diagram bezporuchovosti

Skládá se z kombinace obou základních zapojení prvků (sériového a paralelního) blokového diagramu bezporuchovosti a proto je označován za smíšený. Výpočet ukazatelů bezporuchovosti se řeší postupným zjednodušováním celého zapojení.



Obrázek 8: Smíšený spolehlivostní model

2 Elektronické stavědlo K-2000

Elektronické stavědlo K-2000 je staniční zabezpečovací zařízení 3. kategorie cestového systému s jednotným obslužným pracovištěm. Zařízení je určeno pro malé a střední stanice do dvaceti ústředně stavěných výhybek. Počet traťových kolejí zaústěných do stanice není omezen. Umožňuje vazbu s několika druhy traťových zabezpečovacích zařízení. Do elektronického stavědla je možné integrovat kontroly a ovládání přejezdových zabezpečovacích zařízení všech typů ve stanici a na přilehlých traťových úsecích. Další typy zabezpečovacích zařízení je možné v případě potřeby doplnit na základě schvalovacího řízení. Verzi staničního zabezpečovacího zařízení K-2000 předcházely verze SZZK (z roku 1996), a verze SZZK-98 (z roku 1998).

2.1 Popis zařízení K-2000

Konfigurace systému je tvořena čtyřmi úrovněmi. První úroveň obsluhy a druhá úroveň bezpečnostní a logická tvoří elektronickou část zařízení. Třetí úroveň vstupních a výstupních obvodů je reléová a čtvrtá úroveň je tvořena venkovními prvky zabezpečovacího zařízení.

Úroveň obsluhy

Zařízení této úrovně je tvořeno ovládacími počítači, které slouží ke styku zařízení s obsluhou. Obsahují počítače s procesory Pentium a monitor, jehož velikost je dána rozsahem zobrazovaného kolejiště. Kromě běžných periférií (klávesnice, myš), obsahují převodník RS485, čtečku čipových karet a modul pro paměťovou kartu.

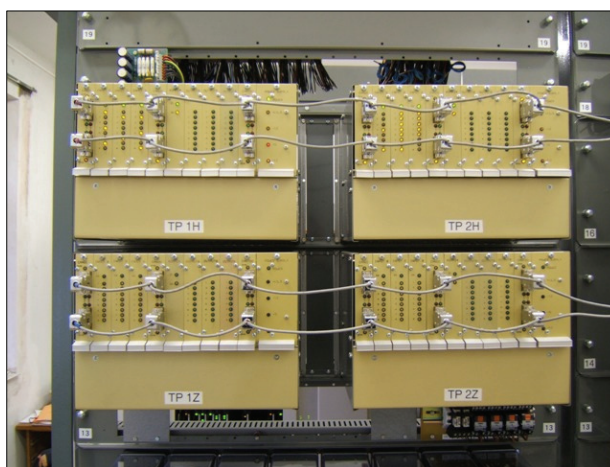


Obrázek 9: Úroveň obsluhy

Data přicházející z modulu CPU jsou zpracována v ovládacím počítači a zobrazována na obrazovce monitoru. V době vydávání nouzových povelů je grafické zobrazení doplněno textovým výpisem odchylek od správného stavu venkovního zabezpečovacího zařízení. Použitý princip zobrazování textového výpisu a grafiky zajišťuje bezpečné zobrazení informací nutných k vydání nouzového povelu.

Úroveň bezpečnostní a logická

Úroveň je tvořena dvojicemi technologických počítačů a komparátory. Technologické počítače a komparátory jsou napájeny ze staniční baterie přes přepínač napětí, který umožňuje přepínat hlavní a záložní systém. K přepínači napětí jsou zařazeny přepěťové ochrany a filtrační obvod s velkou kapacitou, který slouží k překlenutí krátkodobého poklesu napětí, v případě startu záložního měniče napájení při déletrvajícím výpadku hlavního napájení. Osazení úrovně je ve stavědlové ústředně, která je umístěna v technologické místnosti. Maximální vzdálenost od obslužného pracoviště je omezena na 1200 metrů kabelové délky. Při větší vzdálenosti lze použít např. spojení optickým kabelem.



Obrázek 10: Úroveň logická a bezpečnostní

Úroveň vstupních/výstupních obvodů

Třetí úroveň je tvořena malorozměrovými relé typové řady NMŠ, které tvoří galvanické oddělení elektronické části stavědla od venkovních prvků v kolejišti. Pro světelné obvody návěstidel je pro každé světlo použito jedno zapínací relé typu NMŠ1-2000 a jedno světelné relé NMŠ2-60. Obvod přestavení výhybky je ovládán stavěcími relé SP (stavěcí plusové) a SM (stavěcí minusové), typu NMŠP1-2000. Poloha výhybky je indikována stavem kontrolních relé KP (kontrolní plusové) a KM

(kontrolní minusové). Rozřez výhybky a závěr vlakových cest je prováděn softwarově v technologickém počítači. Evidence rozřezu je protokolována a její odstranění zajistí pracovník údržby tlačítkem ve stavědlové ústředně. Závislost mezi místně stavěnou výhybkou a staničním zařízením je provedena pomocí elektromagnetického zámku, který je ovládán jedním ovládacím a jedním kontrolním relé typu NMŠ2-4000. Vazba staničního a traťového zařízení je provedena pomocí 20-ti relé. Pro zajištění vazby přejezdového zařízení se staničním je použito maximálně 9-ti relé.



Obrázek 11: Úroveň vstupních a výstupních obvodů

Úroveň venkovního zařízení

Prvky venkovního zařízení jsou tvořeny elektromotorickými přestavníky EP 600, návěstidly AŽD 70, počítači náprav Alcatel 6221-A3, elektromagnetickými zámky a kolejovými obvody 75 Hz pro traťové mezistaniční úseky.



Obrázek 12: Úroveň venkovních zařízení

2.2 Popis železniční stanice Káranice

V roce 2000 byla v železniční stanici Káranice provedena rekonstrukce staničního zabezpečovacího zařízení. Původní elektromechanické staniční zabezpečovací zařízení bylo nahrazeno novým zařízením cestového systému s jednotným obslužným pracovištěm s typovým označením K-2000.

V železniční stanici se nacházejí tři dopravní, jedna manipulační a dvě vlečkové koleje. Zabezpečení výhybek je uskutečněno pomocí třífázových elektromotorických přestavníků typu EP 600. Výhybky číslo 5 a 6 jsou zabezpečeny výměnovými zámky a jsou závislé na polohách výkolejek Vk1 a Vk2. Vazba na staniční zařízení je provedena prostřednictvím elektromagnetických zámků EMZ Vk1/5 a EMZ Vk2/6. Přenos návěstí na železniční vozidlo je uskutečňován světelnými návěstidly. Návěstidla vjezdová, odjezdová a předvěsti jsou stožárová typu AŽD 70. Seřaďovací návěstidla Se1 a Se4 jsou trpasličího typu, rovněž AŽD 70. Kontrola volnosti staničních kolejí, výhybkových a bezvýhybkových úseků je provedena pomocí počítačů náprav ALCATEL 6221–A3. Jednotlivé snímače jsou umístěny v takových místech, aby byla zajištěna kontrola rovnocenné souvislé izolace kolejiště. V rámci rekonstrukce byly ke světelným návěstidlům, elektromotorickým přestavníkům, elektromagnetickým zámkům a k počítačům náprav položeny nové zabezpečovací kabely. Kompletní plán kolejiště včetně umístění zabezpečovacího zařízení je znázorněno v příloze 2.

Základní napájení zabezpečovacího zařízení je zajištěno třífázovou přípojkou z drážní měnirny v Káranicích. Náhradní napájení je uskutečněno z přípojky veřejné sítě. Bezúdržbová baterie zajišťuje trvalé napájení reléových a elektronických obvodů a počítačů náprav. V případě výpadků obou napájecích soustav baterie zajišťuje napájení zařízení po dobu pěti hodin.

Přejezdy v kilometrických polohách 7,578 a 8,425 jsou vybaveny výstražním světelným zabezpečovacím zařízením PZS typu AŽD 71. Přejezdové zařízení v kilometru 7,578 je doplněno o celá závorová břevna. Pro oba dopravní směry je vpravo od komunikace umístěn výstražník. Ovládání přejezdu je automatické v závislosti na jízdě vlaku a na postavené vlakové cestě. Výstražní stav u PZS v kilometru 7,578 je závislý na uvolnění klíče z elektromagnetického zámku EMZ Vk2/6. U PZS v kilometru 8,425 je výstražní stav vytvořen závislostí na poloze výkolejky Vk1. Kontrolní a ovládací prvky obou PZS jsou zahrnuty do systému JOP

staničního zabezpečovacího zařízení. Napájení přejezdových zařízení je zajištěno elektrickou přípojkou z hlavního rozvaděče staničního zabezpečovacího zařízení. Pro napájení stejnosměrných obvodů je použita bezúdržbová baterie, která zajistí nouzové napájení po dobu šesti hodin.

2.3 Údržba na staničním zabezpečovacím zařízení

S výstavbou nových druhů zabezpečovacích zařízení vzniká neustálá potřeba doplňování současných technických předpisů. Je potřeba dbát i na zapracování změn, které vyplývají z řady realizovaných opatření (lhůty údržby, lhůty pro opravy výměnných dílů, změny technologických pracovních postupů, atp.). Pro stanovení časové potřeby a počtu zaměstnanců pro údržbu zabezpečovacích zařízení se využívá předpisu T300 a jeho programového vybavení. Hlavním ukazatelem předpisu je stanovení objemu zabezpečovacích zařízení a určení nákladů na jejich údržbu, včetně stanovení počtu udržujících zaměstnanců na udržovací jednotky. Udržovací jednotka je dílčím ukazatelem pro stanovení doby potřebné pro údržbu konkrétního objemu zařízení, která zohledňuje dobu potřebnou pro údržbu. Měnící se ekonomické podmínky vyžadují zprůhlednění a dokladování potřebného počtu zaměstnanců a finančních prostředků vynaložených na údržbu zabezpečovacích zařízení.

Aplikační programové vybavení předpisu T300 určuje ukazatele pro plánování a vykazování potřeby počtu udržujících zaměstnanců. Programové vybavení je obsahuje čtyři adresáře, které jsou tvořeny základními programovými a konfiguračními soubory, číselníkem jednotlivých skupin zabezpečovacích zařízení (např. elektromotorické přestavníky, návěstidla, atp.), výslednými soubory s výběrovými kritérii a adresářem s pasportními daty. Přiřazením tabulkových hodnot upravených zadanými koeficienty nabízí pro plánovací účel výstup v podobě sumární sestavy. Součástí sestavy je plán údržby pro daný technologický celek. V příloze 3 je uveden plán údržby pro venkovní část staničního zařízení K-2000. Sestava se soupisem konkrétního vybraného rozsahu zařízení uvádí tabulkový čas údržby, tedy naměřený čistý čas v hodinách za rok.

3 Predikce spolehlivosti objektů staničního zabezpečovacího zařízení

Sběr jednotlivých dat potřebných k určení predikce spolehlivosti prvků úrovní zabezpečovacího zařízení K-2000 byl vybrán z provozních údajů, které jsou zaznamenávány do záznamníku poruch na zabezpečovacím zařízení. Dojde-li k poruše na zabezpečovacím zařízení je proveden dopravním zaměstnancem zápis o daném poruchovém stavu a následně vyrozuměn kvalifikovaný zaměstnanec z odvětví zabezpečovací techniky. Udržující zaměstnanec po odstranění poruchy a následném přezkoušení zařízení odepíše v záznamníku poruch zápis o poruchovém stavu. Byla-li z důvodu poruchy nařízena dopravní opatření, po odstranění poruchy se toto opatření ruší a vše se zapíše do záznamníku poruch. V tabulce 5 je znázorněn soupis jednotlivých počtu poruch vzniklých během sledovaného období (52 608 h) na každých objektech jednotlivých úrovní elektronického stavědla K-2000.

Úroveň	Druh objektu	Počet objektů	Počet poruch
1.úroveň	Ovládací počítač	2	2
2.úroveň	Technologický počítač	4	5
3.úroveň	Elektromechanické relé	226	3
4.úroveň	Hlavní návěstidlo a předvěsti	10	26
	Seřaďovací návěstidla	4	10
	Počítač náprav	16	3
	Elektromotorický přestavník	6	3
	Kolejový obvod	4	1

Tabulka 5: Poruchovost zařízení

Z tabulky 5 je patrné, že největší zastoupení objektů, u kterých došlo během sledovaného období k poruchovému stavu má čtvrtá úroveň s celkovým počtem pěti objektů. Nejporuchovějším prvkem je žárovka červeného návěstního světla u hlavních návěstidel a žlutého světla u předvěstí. Vzhledem k tomu, že střední doby mezi poruchami se vyjadřují exponenciálním rozdělením pravděpodobnosti, bude pravděpodobnost provozuschopnosti prvků střední doby mezi poruchami 0,368 a do střední doby mezi poruchami bude funkční přibližně 37% prvků.

Pro následující výpočty budou použity vztahy:

$$T_{N(o)} = n \cdot t_z \quad [ks \cdot h] \quad (16)$$

T_N – celková akumulovaná doba sledování všech neobnovovaných objektů

T_o – celková akumulovaná doba sledování všech obnovovaných objektů

n – počet sledovaných objektů

t_z – celková doba sledování

$$MTBF = \frac{\sum t_z}{\sum r} \quad [h] \quad (11)$$

$MTBF$ – střední doba mezi poruchami

r – počet všech poruch

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad [h^{-1}] \quad (10)$$

λ – intenzita poruch

3.1 Predikce spolehlivosti objektů venkovního zařízení

3.1.1 Predikce spolehlivosti návěstních žárovek základních znaků u hlavních návěstidel a předvěstí a seřadovacích návěstidel

Návěstní žárovka je považována za neobnovovaný objekt, v případě poruchy nedochází k opravě, ale vymění se za novou. Ve světelných návěstidlech typu AŽD 70 se používá žárovka s jmenovitým napětím 12 V a výkonem 20 W, typu 12/20 BA 20d. Na základě několika výpočtů středních dob mezi poruchami (MTBF) na návěstních žárovkách jsou odhady spolehlivosti rozděleny do čtyř skupin, podle druhu a počtu sledovaných objektů:

1. výpočet všech návěstních žárovek základních znaků hlavních návěstidel a předvěstí (14 ks).
2. výpočet návěstních žárovek základních znaků návěstidel hlavních a předvěstí (10 ks).
3. výpočet návěstních žárovek základních znaků hlavních návěstidel a předvěstí v první koleji (6 ks).

4. výpočet návěštních žárovek základních znaků na seřadovacích návěstidlech (4 ks).

Výsledky odhadu spolehlivosti jednotlivých skupin návěštních žárovek:

1. skupina:

$$MTBF(14) = 20\,458 \text{ h}$$

$$\lambda_{(1)} = 4,888 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

2. skupina:

$$MTBF(10) = 20\,233 \text{ h}$$

$$\lambda_{(2)} = 4,942 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

3. skupina:

$$MTBF(4) = 21\,043 \text{ h}$$

$$\lambda_{(3)} = 4,752 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

4. skupina:

$$MTBF(4) = 21\,043 \text{ h}$$

$$\lambda_{(4)} = 4,752 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

$\lambda_{(1,2,3,4)}$ – určuje intenzitu poruch v jednotlivých skupinách

$MTBF(x)$ – určuje MTBF pro danou skupinu

Z výsledku je patrné, že i přes rozdělení do jednotlivých skupin jsou výsledné hodnoty středních dob mezi poruchami přibližně stejné. Může být způsobeno tím, že jednotlivé objekty jsou součástí jednoho kompletního staničního zařízení a jejich počet nemusí být dostačující.

Pro srovnání bude uveden výpočet z 36-ti objektů návěštních žárovek základních znaků na hlavních návěstidlech a předvěstí, u kterých bylo evidováno celkem 89 poruch. Doba sledování je stejná jako v případě žárovek na staničním zařízení K-2000. Opět se jedná o návěstidla typu AŽD 70, která se nacházejí na stejné trati jako zabezpečovací systém K-2000. Mezi návěstidla, která byla sledována patří vjezdová, odjezdová z prvních staničních kolejí a předvěstí. Pro výpočet je použito vztahů 10, 11 a 16 jako v předchozích případech.

Výpočet středních dob mezi poruchami (MTBF) pro 36 objektů:

$$\text{MTBF} = 21\,280 \text{ h}$$

$$\lambda_{(36)} = 4,699 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

$\lambda_{(36)}$ – určuje intenzitu poruch u 36 objektů

3.1.2 Predikce spolehlivosti elektromotorického přestavníku EP 600

Do výpočtu není zahrnut přestavník na výkolejce MVK1, protože tímto přestavníkem nedochází k přestavování výhybky. Z tabulky 5 je patrné, že za sledovanou dobu 52 608 h došlo ke třem náhodným poruchám na přestavníku. Výběr jednotlivých poruch je omezen systematickými poruchami součástí výhybky (těžký chod výměny, atp.), u kterých není přestavník hlavní příčinou poruchy. Jedná se o obnovovaný objekt, který se po poruše opravuje.

Výpočet MTBF pro 6 objektů:

$$\text{MTBF} = 105\,216 \text{ h}$$

$$\lambda_{EP} = 9,504 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$$

λ_{EP} – intenzita poruch na elektromotorickém přestavníku

3.1.3 Predikce spolehlivosti počítače náprav

Počítač náprav patří také do skupiny obnovovaných objektů. Za sledovanou dobu došlo ke třem náhodným poruchám. Vlivem poruch došlo k samovolnému obsazení kolejových úseků.

Výpočet MTBF pro 16 objektů:

$$\text{MTBF} = 280\,576 \text{ h}$$

$$\lambda_{pn} = 3,564 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$$

λ_{pn} – intenzita poruch počítače náprav

3.1.4 Predikce odhadu spolehlivosti pro kolejový obvod

Kolejové obvody jsou umístěny v mezistaničních úsecích sousedících železničních stanic. Jejich úkolem je zjišťovat volnost tratí a spolupracovat s traťovým zabezpečovacím zařízením. Při výběru poruch na kolejovém obvodu je nutno oddělit poruchy způsobené vnějšími vlivy (lom kolejnice, vadný izolovaný styk, atp.) od náhodných poruch. Přesnost výpočtu středních dob mezi poruchami je

ovlivněna malým počtem objektů. Ve sledovaném období byla zaznamenána jedna náhodná porucha na kolejovém obvodu.

Výpočet MTBF pro 4 objekty:

$$\text{MTBF} = 210\,432 \text{ h}$$

$$\lambda_{ko} = 4,752 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$$

λ_{ko} – intenzita poruch kolejového obvodu

3.1.5 Predikce celkové spolehlivosti úrovně venkovního zařízení

Na základě výpočtu intenzit poruch jednotlivých objektů 4.úrovně je možno odhadnout střední dobu mezi poruchami na venkovních zařízení. Celková intenzita 4. úrovně je dána součtem intenzit poruch jednotlivých objektů venkovního zařízení.

$$\lambda_c = \lambda_{PN} + \lambda_{\text{čs}} + \lambda_{EP} + \lambda_{ko}$$

$$\lambda_c = 6,67 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

$$\text{MTBF}_c = 14\,993 \text{ h}$$

3.2 Predikce spolehlivosti objektů úrovně vstupních a výstupních obvodů

Staniční zabezpečovací zařízení v železniční stanici Káranice obsahuje celkem 226 kusů malorozměrových elektromechanických relé první bezpečnostní třídy. Relé tvoří galvanické oddělení elektronické části stavědla od venkovního zařízení. Požadavky na spolehlivost elektromechanických relé jsou dány normou TNŽ 36 55 30. Střední doba mezi poruchami u relé, při zatížení všech kontaktů stejnosměrným proudem 50 mA a stejnosměrným napětím 24 V, musí dosahovat při průměrné četnosti spínání 900 h^{-1} hodnotu $\text{MTBF} \geq 4 \cdot 10^6$ pracovních cyklů. V úrovni vstupních a výstupních obvodů jsou zaznamenány tři poruchy na relé. Pokaždé se jednalo o přechodový odpor na kontaktech.

Výpočet MTBF pro 226 objektů:

$$\text{MTBF} = 3\,963\,136$$

$$\lambda_r = 0,252 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$$

λ_r – intenzita poruch elektromechanického relé

3.3 Výpočet spolehlivosti objektů úrovně bezpečnostní a logické

Úroveň je tvořena dvojicemi technologických počítačů, u kterých došlo ve sledovaném období k pěti náhodným poruchám. Jednalo se o ztrátu komunikace technologických počítačů. Vlivem poruch došlo ke ztrátě dohledů od venkovních zařízení. Výpočet vychází z předpokladu, že se nerozlišuje porucha na hlavním nebo záložním počítači.

Výpočet MTBF pro 4 objekty:

$$MTBF = 42\,087$$

$$\lambda_{TP} = 2,376 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

λ_{TP} – intenzita poruch technologického počítače

3.4 Výpočet spolehlivosti objektů úrovně obsluhy

Úroveň obsluhy je tvořena dvěma ovládacími počítači, které slouží ke styku zařízení s obsluhou. V případě poruchového stavu této úrovně nemůže dopravní zaměstnanec obsluhovat zařízení. Platí zde stejný předpoklad jako u technologického počítače.

Výpočet MTBF pro 2 objekty:

$$MTBF = 52\,608 \text{ h}$$

$$\lambda_{OP} = 1,900 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

λ_{OP} – intenzita poruch ovládacího počítače

3.5 Součinitel pohotovosti úrovně venkovních zařízení

Pro výpočet součinitele pohotovosti bude použito následujícího vztahu:

$$A = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad [-, \%] \quad (15)$$

A – součinitel pohotovosti

MUT – střední doba použitelného stavu

MDT – střední doba nepoužitelného stavu

Pro výpočet součinitele pohotovosti je důležité vědět kolik hodin bylo potřeba na obnovu zařízení. V případě úrovně venkovního zařízení byla celková doba oprav ve sledovaném období 189 hodin.

MUT = 52 608 hodin

MDT = 189 hodin

A = 0,99642

Závěr

Cílem této práce bylo vyhodnotit údržbu na staničním zabezpečovacím zařízení s ohledem na plnění požadavků RAMS a ze shromážděných údajů provozovaného zabezpečovacího zařízení určit spolehlivostní parametry.

V první části byla práce zaměřena na bezpečnost a spolehlivost zabezpečovacích systémů z pohledu normy ČSN EN 50126. Norma je určena pro používání drážního systému ve všech etapách životního cyklu a stanovuje pro něj úkoly a činnosti, které je potřeba vykonat ke splnění požadovaných funkcí ve vztahu k RAMS. Blíže však nedefinuje cíle, číselné hodnoty a požadavky na řešení RAMS pro konkrétní drážní zařízení. Dále jsou v této části uvedeny základní pojmy ze spolehlivosti elektronických zařízení.

Druhá část se věnuje staničnímu zabezpečovacímu zařízení K-2000 v konkrétní lokalitě. Je zde uveden základní popis železniční stanice Káranice včetně popisu jednotlivých venkovních prvků zabezpečovacího zařízení. Dále je v této části popsáno staniční zabezpečovací zařízení K-2000 od firmy Starmon s.r.o. Nechybí ani seznámení se způsobem údržby zabezpečovacího zařízení na železniční infrastruktuře.

Třetí část se zabývá výpočty spolehlivostních parametrů na konkrétním staničním zabezpečovacím zařízení. Jednotlivé predikce spolehlivosti jsou rozděleny do daných úrovní daného zabezpečovacího zařízení. K výpočtu spolehlivostních parametrů bylo využito provozních údajů zaznamenaných v záznamníku poruch na zabezpečovacím zařízení. Výběr provozních záznamů byl proveden z období 1.1.2003 – 1.1.2009 a následně rozdělen na poruchy na vnitřním a vnějším zařízení, jak je uvedeno v tabulce 5. U jednotlivých prvků zabezpečovacího zařízení byl proveden výpočet střední doby mezi poruchami (MTBF) ve sledovaném období. Ve výpočtu je zahrnuta doba preventivní údržby a doba do obnovy zařízení. Souhrn všech získaných hodnot je uveden v tabulce 6.

Nejpočetnější skupinou prvků je úroveň venkovních zařízení s pěti objekty. Mezi nejporuchovější objekt patří návěstní žárovka základních znaků na hlavních a seřaďovacích návěstidlech a předvěstí. Ve sledovaném období došlo k 36-ti poruchám návěstní žárovky. Výsledná střední doba mezi poruchami se pohybuje kolem 20 000 hodin. Pro srovnání je uveden výpočet shodných žárovek téže funkce

z 36-ti objektů, které se nacházejí na stejné trati jako železniční stanice Káranice. Z výsledku je patrné, že výsledná hodnota střední doby mezi poruchami se pohybuje rovněž kolem 20 000 hodin.

Výrobce zmíněných žárovek udává minimální životnost návěstní žárovky při jmenovitém napětí 12 V kolem 2 000 hodin. Porovnáním hodnot získaných výpočtem střední doby mezi poruchami a hodnotou od výrobce je patrný několikanásobný rozdíl. Jedním z důvodů může být použitý rozsah napájecího napětí návěstní žárovky na návěstidlech, který se pohybuje v rozmezí 10,2–11,2 V, jak je uvedeno v technickém předpisu. Vlivem sníženého jmenovitého napětí dochází k podžhavení vlákna žárovky a tím by se mohla zvyšovat její životnost.

Z obnovovaných objektů je nejporuchovější počítač náprav, u kterého došlo ve sledovaném období ke třem poruchám. Střední doba mezi poruchou se pohybuje kolem 280 000 hodin. Hodnota stanovená výrobcem se pohybuje výše než již zmiňovaných 280 000 hodin. Jedním z důvodů nízké střední doby mezi poruchami může být systematická chyba při montáži počítače náprav.

Úroveň	Druh objektu	MTBF [h]	λ [h^{-1}]
1.úroveň	Ovládací počítač	52 608	$1,900 \cdot 10^{-5}$
2.úroveň	Technologický počítač	42 087	$2,376 \cdot 10^{-5}$
3.úroveň	Elektromechanické relé	3 963 136	$0,252 \cdot 10^{-6}$
4.úroveň	Návěstidla a předvěsti	20 458	$4,888 \cdot 10^{-5}$
	Počítač náprav	280 576	$3,564 \cdot 10^{-6}$
	Elektromotorický přestavník	105 216	$9,504 \cdot 10^{-6}$
	Kolejový obvod	210 432	$4,752 \cdot 10^{-6}$

Tabulka 6: Výsledky predikce spolehlivosti

Na základě získaných hodnot spolehlivostních parametrů zabezpečovacího zařízení je možné odhadnout optimální množství náhradních dílů potřebných k udržení železničního zabezpečovacího zařízení v maximální pohotovosti.

Seznam použité literatury

- [1] Hlavička, J.: *Spolehlivost a diagnostika*, Skriptum, Praha: Vydavatelství ČVUT, 1989. 155 s.
- [2] ČSN EN 50126 (33 3502). *Drážní zařízení – Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržovatelnosti a bezpečnosti (RAMS)*. Praha, Český normalizační institut, červen 2001. 72 s.
- [3] ČSN EN 50129 (34 2675). *Drážní zařízení – Sdělovací a zabezpečovací systémy a systémy zpracování dat – Elektronické zabezpečovací systémy*. Praha, Český normalizační institut, duben 2003. 102 s.
- [4] Fuchs, P.: *Využití spolehlivosti v provozní praxi*, Technická univerzita v Liberci. 2005. 76 s.
- [5] Mykiska, A.: *Bezpečnost a spolehlivost technických systémů*, Skriptum, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. 206 s.
- [6] Chudáček, V. a kolektiv. *Železniční zabezpečovací technika*. Praha, 2005. 145 s.
- [7] ČSN IEC 706-1. *Pokyny k udržovatelnosti zařízení – část 1*. Praha, červen 1992. 16 s.
- [8] ON 34 2616 (JK 404). *Výběr ukazatelů spolehlivosti železničních zabezpečovacích zařízení*. Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1988. 20 s.
- [9] ČSN 34 2617 (JK 404). *Určování a ověřování ukazatelů spolehlivosti železničních zabezpečovacích zařízení*. Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1992. 16 s.
- [10] ON 36 5530 (JK 404 221). *Elektromechanická relé pro železniční zabezpečovací zařízení*. Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1987. 20 s.
- [11] ČSN 34 2600. *Elektrická železniční zabezpečovací zařízení*. Praha, Český normalizační institut, 1993. 8 s.
- [12] TNŽ 34 2620. *Železniční zabezpečovací zařízení staniční a traťové zabezpečovací zařízení*. Praha, ČD – TÚDC, 2002. 84 s.
- [13] Záhradník, J., Rástočný, K., Kunhart, M.: *Bezpečnost železničních zabezpečovacích systémů*. Žilinská univerzita, Žilina, 2004. 296 s.

- [14] T 300. *Předpis pro stanovení časové potřeby a počtu zaměstnanců pro údržbu sdělovacích a zabezpečovacích zařízení*. Praha, Elektronická verze na IS Normis, 2006. 30 s.
- [15] Starmon s.r.o.: *Elektronické stavědlo K-2000 Návod na údržbu*, OE-K-2000-NU-03. 12 s.
- [16] Starmon s.r.o.: *Elektronické stavědlo K-2000 Pokyny pro projektování*, OE-K-2000-PP-03. 9 s.
- [17] Konečný, J.: *Poznámky z předmětu Provozní spolehlivost a diagnostické systémy*, 2006.
- [18] Polívka, V.: *Poznámky z předmětu Provozní spolehlivost a diagnostika*, 2008.
- [19] *Záznamníky poruch na staničním zabezpečovacím zařízení K-2000*.Káranice.
- [20] Kraus, M.: *Výpočet predikce spolehlivosti přejezdového zabezpečovacího zařízení*, Diplomová práce. Univerzita Pardubice, 2007.
- [21] *Zabezpečovací pasport*. Verze programu 2.22. Praha, Správa železniční dopravní cesty s.o., 2008.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnocení a přijetí rizika [6]	13
Tabulka 2: Kategorie rizika [6]	13
Tabulka 3: Úrovně integrity bezpečnosti [3]	14
Tabulka 4: Členění doby údržby [4]	24
Tabulka 5: Poruchovost zařízení	35
Tabulka 6: Výsledky predikce spolehlivosti	43

Seznam obrázků

Obrázek 1: Vzájemný vztah prvků RAMS [2].....	11
Obrázek 2: Systém s reakční bezpečností	14
Obrázek 3: Systém se složenou bezpečností 2 ze 2.....	15
Obrázek 4: Jednoduchý proces obnovy [19]	26
Obrázek 5: Obecný proces obnovy [19]	26
Obrázek 6: Sériový spolehlivostní model	28
Obrázek 7: Paralelní spolehlivostní model	28
Obrázek 8: Smíšený spolehlivostní model	29
Obrázek 9: Úroveň obsluhy	30
Obrázek 10: Úroveň logická a bezpečnostní	31
Obrázek 11: Úroveň vstupních a výstupních obvodů	32
Obrázek 12: Úroveň venkovních zařízení	32

Seznam grafů

Graf 1: Průběh intenzity poruch – vanová křivka [4]	20
Graf 2: Průběh pravděpodobnosti poruchy $Q(t)$	21
Graf 3: Průběh pravděpodobnostní funkce hustoty poruch $f(t)$	22
Graf 4: Průběh funkce spolehlivosti $R(t)$	23

Seznam zkratek

RAMS – bezporuchovost, pohotovost, udržovatelnost a bezpečnost

THR – tolerovatelný hazardní stav

CPU – centrální procesorová jednotka

MTBF – střední doba mezi poruchami

MTTR – střední doba do poruchy

MRT – střední doba do opravy

MUT – střední doba použitelného stavu

MDT – střední doba nepoužitelného stavu

JOP – jednotné obslužné pracoviště

NMŠ – neutrální malorozměrové relé v zástrčkovém provedení

EMZ – elektromagnetický zámek

Vk – výkolejka

Se – seřaďovací návěstidlo

EP 600 – elektromotorický přestavník

PZS – přejezdové zařízení světelné

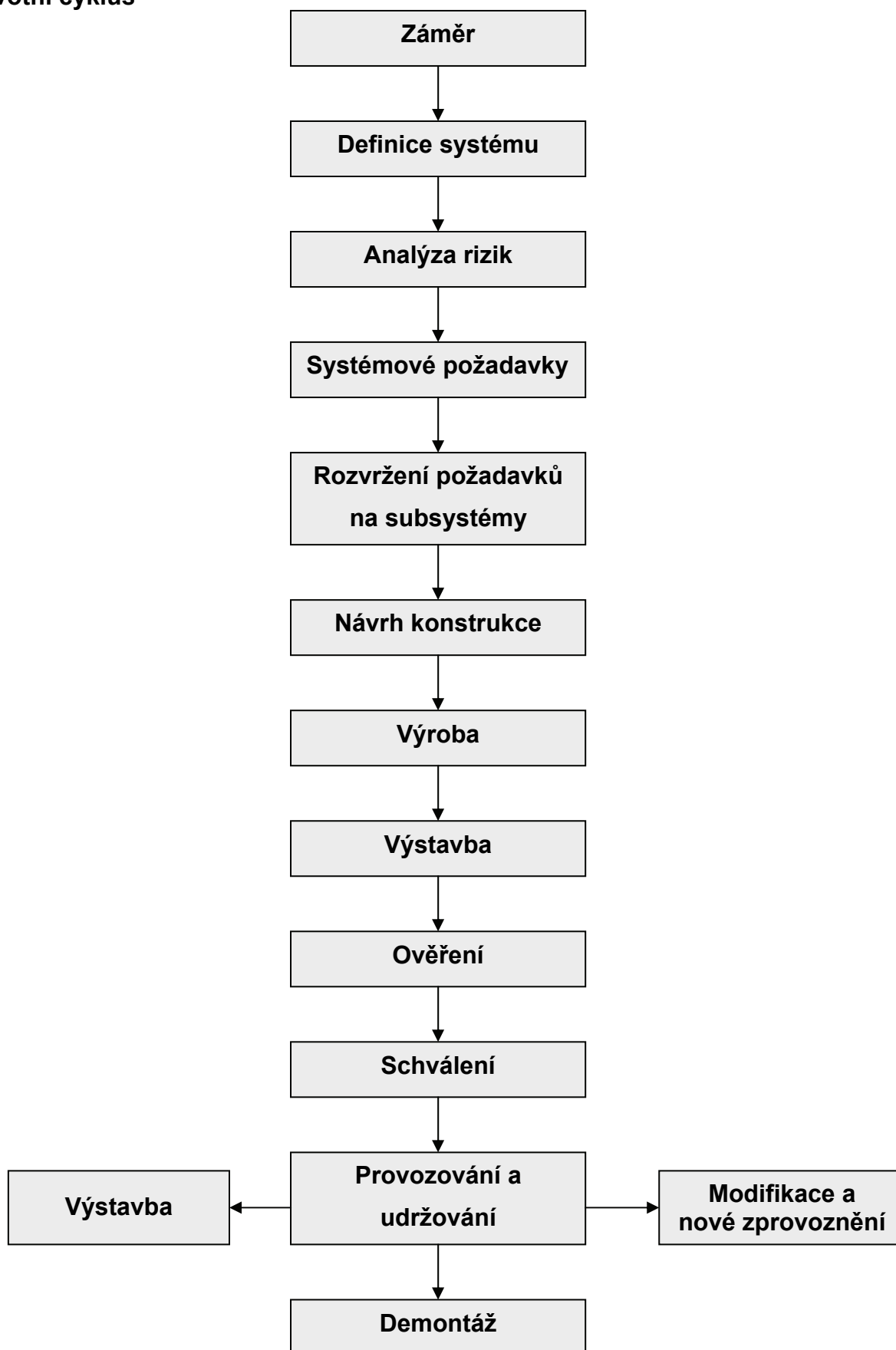
ČSN – česká technická norma

EN – evropská norma

Seznam příloh

Příloha 1	51
Příloha 2	52
Příloha 3	54

Životní cyklus



Plán kolejiště v železniční stanici Káranice

